

## ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РЕЗЦА

Чэнь Юэчжоу, Чжао Цзялунь, Козлов Виктор Николаевич

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич, к.т.н, доцент ТПУ

Томский политехнический университет

Для оценки прочности режущих инструментов выполняется расчёт напряжённо-деформированного состояния режущего клина, поскольку в большинстве случаев именно там происходят выкрашивание режущей кромки и сколы. Для качественного и достоверного расчёта необходимо знать распределение контактных напряжений на его передней и задней поверхностях, в противном случае будет существенная погрешность [1]. При оценке прочности инструмента необходимо принимать во внимание его износ. Практически всегда наиболее интенсивно износ происходит по задней поверхности с образованием фаски длиной  $h_{\text{из}}$  (рис. 1). Несмотря на то, что угол наклона фаски износа  $\alpha_{\text{ф}}$  может быть и отрицательным (рис. 1), при обработке стали и  $h_{\text{из}} \leq 0,9$  мм в большинстве случаев задний угол на ней равен нулю ( $\alpha_{\text{ф}} = 0^\circ$ ) [1]. Появление фаски вызывает существенное увеличение силы резания, особенно её составляющей  $P_{\text{ху}}$ , что увеличивает напряжение в режущем клине и вероятность его разрушения.

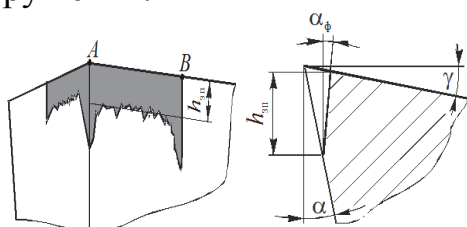


Рис. 1. Износ резца по задней поверхности

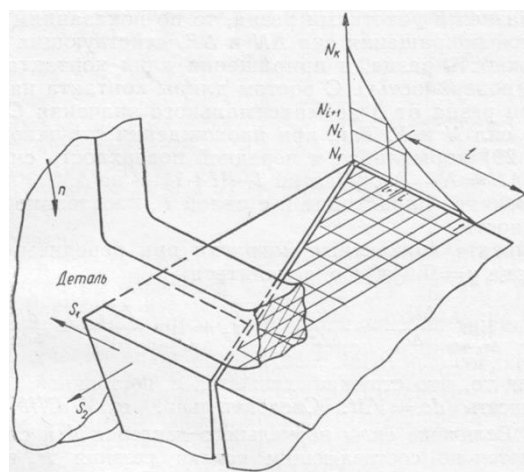


Рис. 2. Схема измерения составляющих силы резания на передней поверхности резца разрезным резцом [1]

Изучение распределения контактных напряжений на поверхностях режущего инструмента является сложной задачей из-за небольшого размера поверхностей контакта и, в то же время, большой

величины контактных напряжений на них. Метод разрезного резца (рис. 2) позволяет проводить исследования при производственных режимах резания, т.е. с большой скоростью резания и подачей даже при обработке сталей.

Для увеличения точности получаемых результатов измерительные перемещения частей разрезного резца, закреплённых на упругих измерительных элементах, должны быть не более нескольких микрометров. Если жёсткость упругих измерительных элементов будет мала, то основная нагрузка будет приходиться на первую пластину (на рис. 2 она расположена слева), имеющую главную режущую кромку, из-за того, что вторая пластина, главная для метода разрезного резца (на рис. 2 она расположена справа), будет «проседать» под действием нормальной силы. Поэтому измеряемая на ней нагрузка будет меньше, чем это было бы в реальности при сплошном резце.

Для упрощения применения этого метода используется точение диска из обрабатываемого материала на токарном станке при радиальной подаче режущего инструмента, т.е. разрезного резца. Режущая кромка располагается параллельно оси вращения заготовки, т.е. реализуется схема прямоугольного свободного резания. Таким образом при резании будут действовать только две технологические составляющие силы резания:  $P_z$  и  $P_y$ . Расстояние от режущей кромки до места разреза (плоскости разъединения двух сопрягаемых частей режущего инструмента) делается переменным  $x_i = x_{Ai}$  [мм] (рис. 2 и 3). Длина контакта стружки с передней поверхностью  $s$  [мм] остаётся неизменной:  $s = x_{Ai} + x_{Bi} + 0.01$ , где 0.01 мм – это зазор между пластинами. Уменьшение расстояния  $x_{Ai}$  [мм] от величины, равной  $s$  ( $x_{Ai} = s$ ), до нуля ( $x_{Ai} = 0$  мм) приводит к увеличению участка контакта стружки на пластине Б до величины  $x_{Bi}$ . При этом составляющие силы резания на пластине Б  $P_{zB}$  и  $P_{yB}$  увеличиваются.

При переднем угле  $\gamma = 0^\circ$  приращение силы  $P_{zBi}$  ( $\Delta P_{zBi}$  [Н]) к приращению площади контакта стружки с пластиной Б ( $\Delta S_i$  [мм<sup>2</sup>]) есть удельная нормальная контактная нагрузка на рассматриваемом участке контакта стружки с передней поверхностью шириной  $b_c$  [мм]:

$$q_{Ni} = \Delta P_{zBi} / \Delta S_i = \frac{\Delta P_{z_{Bi}}}{\Delta x_{Bi} \cdot b_c} = \frac{P_{z_{Bi}} - P_{z_{Bi-1}}}{(x_{Bi} - x_{Bi-1}) \cdot b_c} \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$

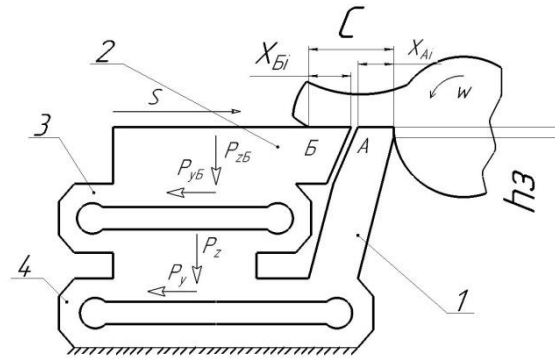


Рис. 3. Схема измерения составляющих силы резания на передней поверхности резца при установке СТДРР на токарном станке

Если передний угол  $\gamma$  не равен нулю, то расчёт физических составляющих силы резания на передней поверхности  $N$  и  $F$  выполняется с использованием известных формул с учётом переднего угла [1].

Аналогично рассчитывается удельная касательная контактная нагрузка на рассматриваемом участке:

$$qF_i = \Delta P_{y_{Bi}} / \Delta S_i = \frac{\Delta P_{y_{Bi}}}{\Delta x_{Bi} \cdot b_c} = \frac{P_{y_{Bi}} - P_{y_{Bi-1}}}{(x_{Bi} - x_{Bi-1}) \cdot b_c} \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$

При малом изменении длины  $x_{Bi}$ , т.е.  $\Delta x_{Bi-1} = (x_{Bi} - x_{Bi-1}) \approx 0,01$  мм, удельную нормальную контактную нагрузку  $qN_i$  можно принять за нормальное контактное напряжение на этом участке  $\sigma_i$  [Н/мм<sup>2</sup>], а удельную касательную контактную нагрузку  $qF_i$  можно принять за касательное контактное напряжение на этом участке  $\tau_i$  [Н/мм<sup>2</sup>].

Важнейшим условием достоверности полученных результатов при использовании метода разрезного резца является постоянство условия резания, независимо от того, какой участок режущей кромки находится в контакте с заготовкой. Косвенно это можно контролировать неизменностью технологических составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$ . Для этого в конструкции специального токарного динамометра (СТДРР) для разрезного резца конструкции В.А. Красильникова [2] (рис. 3) предусмотрено два пояса упругих элементов: с помощью датчиков на верхнем поясе 3 фиксируется нагрузка на пластине Б (главной пластине разрезного резца), а с помощью датчиков на нижнем поясе 4 фиксируются общие технологические составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  на пластинах А и Б. Эти технологические составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  должны быть неизменными в одной серии

экспериментов, чтобы быть уверенным в том, что условия контакта на передней и задней поверхностях инструмента не изменились.

Изменения составляющих сил на пластине Б небольшие, особенно на конечном участке контакта стружки с передней поверхности. Для увеличения чувствительности даже к этим небольшим изменениям сил на пластине Б упругие измерительные элементы 3 изготавливаются с меньшей толщиной стенок, т.е. с меньшей жёсткостью по сравнению с элементами 4, которые воспринимают силы и на пластине А, и на пластине Б.

При врезании в заготовку силы резания действуют на пластину А, закреплённую на элементах 4. Они упруго деформируются, и пластина А опускается немного вниз и смещается влево. Элементы 3, установленные на элементах 4, тоже смещаются в этом же направлении, поэтому верхняя поверхность пластины Б не возвышается над верхней поверхностью пластины А. Стружка движется по верхним поверхностям пластин, не испытывая препятствий.

После того, как перемещающаяся по передней поверхности стружка вступает в контакт с пластиной Б, она начинает действовать на неё силами  $P_{zB}$  и  $P_{yB}$  на участке длиной  $x_{B1}$ . Элементы 3 упруго деформируются, поэтому пластина Б, закреплённая на них, немного перемещается (на доли микрометра) немного вниз и влево. Пластина Б немного опускается вниз (на доли микрометра) относительно пластины А, поэтому её верхняя поверхность не возвышается над верхней поверхностью пластины А.

Распределение контактных напряжений на передней поверхности резца при точении латуни Л63 представлено на рис. 4.

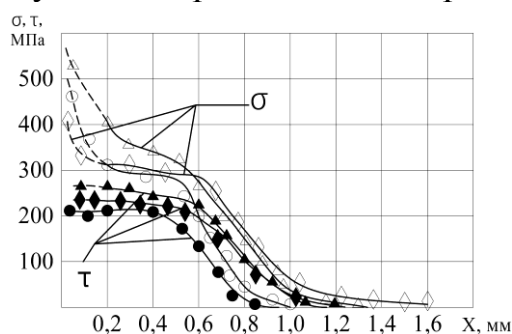


Рис. 4. Распределение нормальных ( $\circ$ ,  $\Delta$ ,  $\diamond$ ) и касательных ( $\bullet$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacklozenge$ ) контактных напряжений на передней поверхности резца при точении латуни Л63. Л63-Р6М5,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\alpha = 18^\circ$ .

$\circ$ ,  $\bullet$  —  $s = 0,07$  мм/об,  $v = 100$  м/мин;

$\Delta$ ,  $\blacktriangle$  —  $s = 0,21$  мм/об,  $v = 100$  м/мин;

$\diamond$ ,  $\blacklozenge$  —  $s = 0,21$  мм/об,  $v = 217$  м/мин.

При исследовании распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности резца длиной  $h_3 = h_{31} + h_{32}$  [мм] (рис. 5) теоретически можно использовать эти же пластины А и Б. На пластине А помимо составляющих сил резания, действующих на передней поверхности  $P_{zп}$  и  $P_{yп}$  (на рис. 5 не показаны), действуют также силы на части фаски задней поверхности длиной  $h_{31} = h_{31}$ : это нормальная сила  $N_{3i}$  и касательная сила  $F_{3i}$ .

Попытки использования СТДРР на токарном станке для исследования распределения контактных напряжений на фаске задней поверхности потерпели неудачу. В момент врезания на пластину А действуют силы  $N_{3i}$  и  $P_{yп}$  (последняя на рис. 5 не показана). Это вызывает деформацию упругих измерительных элементов 3, сконструированных с меньшей жёсткостью, чем элементы 4, влево и вниз, в результате чего появляется острый уступ от пластины Б. Он контактирует с поверхностью заготовки и начинает срезать дополнительную стружку, которая забивает зазор между пластинами. Это приводит к сколу пластин.

Для устранения указанного явления необходимо изменить схему резания. Для реализации новой схемы резания предложено устанавливать СТДРР на стол горизонтально-фрезерного станка (рис. 6). На оправку, закреплённой в шпинделе станка и серье, устанавливается диск из обрабатываемого материала. На СТДРР устанавливается разрезной резец. При такой схеме резания передняя поверхность резца будет вертикальна (при переднем угле  $\gamma = 0^\circ$ ), а фаска задней поверхности – горизонтальна.

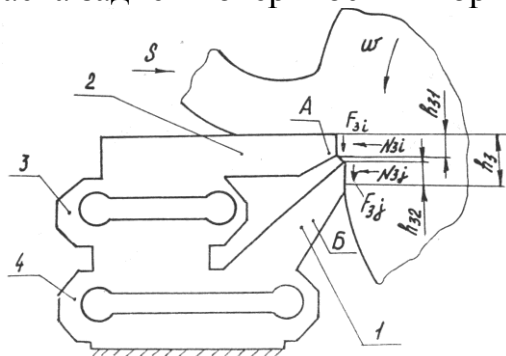


Рис. 5. Изменение положения рабочих пластин А и Б у СТДРР при исследовании контактных нагрузок на фаске задней поверхности резца на токарном станке

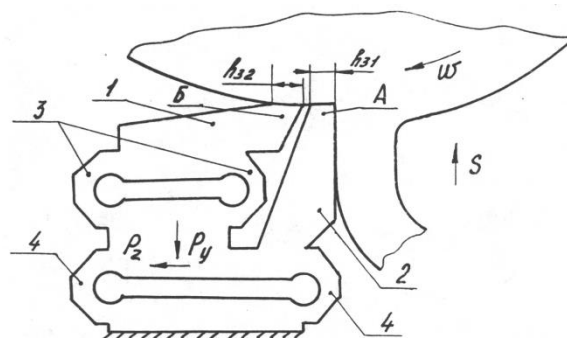


Рис. 6. Схема расположения пластин А и Б разрезного резца при установке СТДРР на горизонтально-фрезерном станке для исследования распределения контактных нагрузок на фаске задней поверхности резца

Под действием сил на передней поверхности и фаски длиной  $h_{z1}$  у пластины А измерительные элементы 4 упруго деформируются немного вниз и влево, поэтому пластина А переместится в этом же направлении. Измерительные элементы 3, закрепленные как и пластина А на упругих элементах 4, тоже переместятся в этом же направлении. Поэтому пластина Б не будет возвышаться над пластиной А, и дополнительная стружка не будет срезаться с поверхности резания.

Общие технологические составляющие силы резания  $P_y$  и  $P_z$  измеряются с помощью упругих измерительных элементов 4, а изменение сил на фаске задней поверхности (на пластине Б) – с помощью элементов 3.

Увеличивая длину участка  $h_{zi}$  (на рис. 5 показан частный случай, когда  $h_{zi} = h_{z1}$ ) при неизменной длине фаски задней поверхности  $h_z$ , рассчитываем удельные контактные нагрузки как отношение приращения соответствующей силы к приращению площади контакта на пластине Б. При небольших изменениях длины фаски пластины Б  $\Delta h_{Bi} \approx 0,01$  мм можно принять, что удельная контактная нагрузка на рассмотренном участке  $i$  равна контактному напряжению. Если учесть, что ширина контакта обрабатываемого диска с пластинами А и Б на фаске, равная  $b$  [мм], неизменна, то нормальное контактное напряжение на фаске задней поверхности на длине  $h_{zi}$  от режущей кромки

$$\sigma_{hi} = (N_{zi} - N_{zi-1}) / (b \cdot \Delta h_{zi}) \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$

Касательное контактное напряжение на фаске задней поверхности

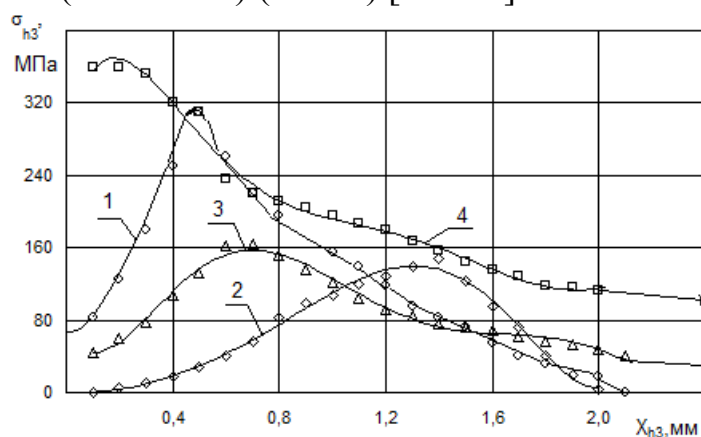
$$\tau_{hi} = (F_{zi} - F_{zi-1}) / (b \cdot \Delta h_{zi}) \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$


Рис. 7. Распределение нормальных контактных нагрузок на фаске задней поверхности инструмента  $\sigma_{h3}$  [МПа],  $\gamma=0^\circ$ ,  $\alpha\Phi=0^\circ$ .

Л63-Р6М5: 1 –  $s = 0,06$  мм/об,  $v = 100$  м/мин;

2 –  $s = 0,21$  мм/об,  $v = 100$  м/мин; 3 –  $s = 0,21$  мм/об,  $v = 217$  м/мин. ЛМцА 57-

3-1 – Р6М5: 4 –  $s = 0,41$  мм/об,  $v = 100$  м/мин.

Для опробирования указанной методики выполнялась обработка мягкой латуни Л63 на горизонтально-фрезерном станке 6Н82Г. Эпюра нормальных контактных напряжений на фаске задней поверхности  $\sigma_{\text{нз}}$  имеет экстремальный характер, т.е. наибольшие напряжения  $\sigma_{\text{нз}}$  наибольшее находятся на некотором отдалении от режущей кромки (рис. 7, графики 1-3). По нашему мнению это связано с прогибом поверхности резания под действием составляющей  $R_{\text{уп}}$  на передней поверхности в области образования стружки [3].

Уменьшение контактных напряжений в конце контакта диска с фаской задней поверхности объясняется нами наличием кривизны периферийной поверхности диска. Выявленный характер распределения обнаруживается во всех случаях резания мягкой латуни Л63, образующую сливную стружку.

При обработке хрупкой латуни ЛМцА 57-3-1 наибольшая величина нормальных контактных напряжений находится вблизи режущей кромки (рис. 7, график 4). Это объясняется элементарным характером стружки, образующейся при обработке латуни ЛМцА 57-3-1. После отделения очередного элемента стружки радиальная составляющая силы резания со стороны передней поверхности  $R_{\text{уп}}$  уменьшается, что и приводит к упругому восстановлению поверхности резания.

### **Заключение**

1. Распределение контактных напряжений на передней поверхности инструмента методом разрезного резца надо исследовать на токарном станке при горизонтальном направлении подачи, а на фаске задней поверхности – на горизонтально-фрезерном станке при вертикальном направлении подачи.

2. При обработке материалов, образующих сливную стружку, наибольшая величина нормальных контактных напряжений находится на удалении от режущей кромки, а при обработке материалов, образующих элементную стружку, – у режущей кромки. Это связано с прогибом поверхности резания.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Физические основы процесса резания металлов. Коллектив авторов. Под ред. профессора В.А. Остафьева. Киев: Вища школа, 1976. – 136 с.

2. Полетика М.Ф., Красильников В.А. Динамометр для измерения сил и напряжений на передней поверхности инструмента // Станки и инструменты. – 1971, № 2. – с. 37-38.
3. Kozlov V. N. Flank Contact Load Distribution at Cutting Tool Wear // Proceeding of the 7th International Forum on Strategic Technology, IFOAT2012, 2012, v. 2, pp. 147-151

## **ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ**

Абдали Лаит Мохаммед Абдали, Кувшинов В.В.

Научный руководитель: Якимович Б.А., д.т.н., профессор

Севастопольский государственный университет

Институт ядерной энергии и промышленности, г. Севастополь

### **Введение:**

Все мы знаем, что мир сталкивается с серьезной угрозой быстрого истощения запасов ископаемого топлива. Большая часть нынешнего спроса на энергию удовлетворяется за счет ископаемой энергии и ядерного топлива. Небольшая часть удовлетворяется за счет технологий на основе возобновляемой энергии, таких как ветер, солнечная энергия, биомасса, геотермальная энергия и т.д. Скоро будет время, когда мы столкнемся с серьезной нехваткой топлива. Исследования также направлены на разработку надежных систем получения энергии из альтернативных источников. Ресурсы, среди которых ветровые и солнечные источники энергии испытали удивительно быстрый рост за последние 10 лет [1]. Оба являются экологически чистыми источниками энергии. Солнечная энергия - это энергия Солнца. Возобновляемая, неисчерпаемая и экологически чистая. Аккумуляторные системы солнечных энергокомплексов обеспечивают электропитание за полные 24 часа в сутки независимо от плохой погоды [2]. Глобальный поиск и удорожание обычного ископаемого топлива делает поставки электрической энергии в удаленные районы практически невозможной. Обычные генераторы на традиционных источниках энергии, которые часто используются как альтернатива солнечным электроустановкам, являются неэкономичными, запускаются только в определенные часы дня, и стоимость их заправки все больше становится проблематичной, если они должны использоваться в коммерческих целях. Энергия ветра -